

Мохначев Павел Евгеньевич

**ВОЗДЕЙСТВИЕ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
НА ЖЕНСКУЮ ГЕНЕРАТИВНУЮ СИСТЕМУ И
СЕМЕННОЕ ПОТОМСТВО СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ**

06.03.02 - Лесоведение и лесоводство, лесоустройство и лесная
таксация

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Екатеринбург - 2019

Работа выполнена в ФГБУН Ботанический сад Уральского отделения
Российской академии наук

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук, заведующий
лабораторией экологии техногенных раститель-
ных сообществ
Менщиков Сергей Леонидович

Официальные оппоненты: Шишкин Александр Сергеевич, доктор биоло-
гических наук, Институт леса им. В.Н. Сукачева
Сибирского отделения РАН – обособленное под-
разделение ФГБНУ Федеральный исследователь-
ский центр «Красноярский научный центр Си-
бирского отделения РАН», лаборатория техно-
генных лесных экосистем, заведующий

Зайцев Глеб Анатольевич, доктор биологических
наук, профессор, Уфимский институт биологии
Уфимского федерального исследовательского
центра РАН, лаборатория лесоведения, старший
научный сотрудник

Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Уральский федеральный универси-
тет имени первого Президента России Б.Н. Ель-
цина»

Защита диссертации состоится «12» февраля 2020 г. в 12⁰⁰ часов на заседа-
нии диссертационного совета Д 212.281.01 при ФГБОУ ВО «Уральский государ-
ственный лесотехнический университет» по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Си-
бирский тракт, 37, ауд. 401.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО
«Уральский государственный лесотехнический университет» (www.usfeu.ru)

Автореферат разослан «___» декабря 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
канд. с.-х. наук, доцент

Магасумова
Альфия Гаптрауфовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В современном мире важнейшей экологической проблемой индустриально развитых стран является загрязнение природной среды промышленно-транспортными эмиссиями. В ряде старопромышленных регионов России, таких как Урал, под воздействием техногенных выбросов крупных предприятий погибли и повреждены леса на значительной территории. Лесовозобновление на данных территориях затруднено, и во многом зависит от способности генеративной системы растений продуцировать полноценные гаметофиты и семена.

К настоящему времени проведено большое количество исследований, касающихся изучения генеративной системы различных видов хвойных при разных типах аэротехногенного загрязнения (Шкарлет, 1974; Roquesandall, 1980; Тихомиров, Федотов, 1982; Федотов и др., 1983; Mejnartowicz, Lewandowski, 1985; Зуева, Камешков, 1989; Хромова и др., 1990; Зуева и др., 1991; Романовский, 1992, 1993, 1997; Кистерный, 1995; Аникеев и др., 2000; Скок, 2002, 2005а,б; Хромова, Романовский, 2002; Осколков, Воронин, 2003; Васфилов, 2005; Казанцева, 2005; Махнева, 2005; Носкова, Третьякова, 2006; Федотов и др., 2006; Гераськин и др., 2008; Паничева, 2009; Ибрагимова, 2010; Евсеева и др., 2011; Иванов и др., 2013; Ангальт, Жамурина, 2014; Бажина, Скрипальщикова, 2014 и др.), однако, данные о состоянии комплекса признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной при магnezитовом типе загрязнения в литературе отсутствуют. В отличие от других загрязнителей, данный тип эмиссий характеризуется своими специфическими особенностями воздействия на компоненты биогеоценозов – одновременное влияние высокощелочной магnezитовой пыли и газов, основные из которых окислы углерода и серы. Исследования комплекса структурных и функциональных показателей женской генеративной системы сосны актуальны как с теоретической точки зрения – для понимания механизмов повреждения и формирования устойчивости растений к техногенному фактору, так и с практической – для оценки потенциала деревьев, произрастающих в условиях загрязнения, к воспроизводству, решения проблем селекции и лесного семеноводства, связанных с лесовосстановлением техногенно нарушенных земель, а также для оценки ущерба лесам и биомониторинга.

Степень разработанности проблемы. Диссертационная работа является продолжением комплексного исследования состояния компонентов лесных биогеоценозов в условиях загрязнения аэротехногенными выбросами комбината «Магnezит». Исследования были проведены в районе г. Сатка Челябинской области на опытных участках, созданных сотрудниками Уральской лесной опытной станции Всесоюзного научно-исследовательского института лесного хозяйства и механизации в градиенте магnezитового загрязнения в начале 80-х годов.

В научной литературе имеется большое количество работ, посвященных изучению процессов репродукции основных лесообразующих видов в условиях загрязнения среды. Однако, комплексные исследования по изучению признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной, включая состояние семяпочек в разные периоды их развития, в условиях аэропромвыбросов, единичны (Романовский, 1997; Аникеев и др., 2000), а в условиях магnezитового загрязнения не проводились. Также в мировой литературе отсутствуют сведения о качестве семенного потомства сосны, произрастающей в условиях воздействия выбросов магnezитового производства и его реакции на почвы, загрязненные данным типом эмиссии.

Диссертация является законченным научным исследованием.

Цель исследования: изучить особенности воздействия выбросов магnezитового производства на женскую генеративную систему сосны обыкновенной (*Pinus silvestris*

L.) и выявить специфику роста и развития семенных потомств сосны обыкновенной в условиях разного уровня техногенного загрязнения.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Изучить количественные и качественные показатели женской генеративной системы сосны обыкновенной в градиенте загрязнения выбросами магnezитового производства и фоновых условиях.
2. Оценить посевные качества семян сосны обыкновенной, сформированных в условиях разных уровней техногенного загрязнения и фоновых условиях.
3. Изучить зависимость состояния семенного потомства сосны обыкновенной от условий формирования семян и уровня техногенного загрязнения почв в вегетационном опыте.

Научная новизна исследований. Впервые в условиях воздействия аэротехногенных выбросов магnezитового производства получены новые данные о состоянии комплекса признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной; установлено влияние магnezитового загрязнения на динамику развития семяпочек; выявлено влияние уровня загрязнения почв и условий формирования семян на рост и развитие сеянцев сосны.

Теоретическая и практическая значимость работы. Проведенные исследования относятся к приоритетным направлениям Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации. В фундаментальном плане результаты работы вносят вклад в понимание механизмов функционирования женской генеративной системы сосны обыкновенной в условиях текущего и накопленного техногенного загрязнения в очагах поражения лесов. С точки зрения охраны природы, в том числе в отношении воспроизводства биологических ресурсов, значение работы связано как с целями диагностики и прогноза повреждений лесных сообществ в очагах загрязнения, так и с проблемой лесовосстановления нарушенных земель, сохранения лесов и повышения их устойчивости.

Методология и методы исследования. В ходе выполнения работ использовали общеизвестные методы исследований, применяемые в биологии, экологии и лесоведении. Визуальную оценку степени повреждения деревьев проводили по общепринятой методике (Санитарные правила, 2006), индекс повреждения древостоя рассчитывали по категориям состояния (Меншиков, 2001). Состояние семяпочек в разные периоды их развития оценивали по методике, предложенной М.Г. Романовским (1997). Посевные качества семян определяли согласно ГОСТ-13056.6-97. При проведении вегетационных опытов руководствовались методами лесокультурного выращивания, применяемыми на лесных питомниках (Редько и др., 1985). Все полученные результаты обрабатывали общеизвестными статистическими методами (Иберла, 1980; Зайцев, 1984; Лакин, 1990; Халафян, 2007).

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Под влиянием выбросов магnezитового производства происходят изменения в состоянии показателей женской генеративной системы сосны обыкновенной.
2. Основные показатели посевных качеств семян (энергия прорастания и абсолютная всхожесть) слабо подвержены влиянию разных уровней магnezитового загрязнения.
3. На грунтовую всхожесть семян сосны обыкновенной, рост и развитие сеянцев из них в вегетационном опыте оказывают влияние, как условия формирования семян, так и почвенные условия.

4. Сеянцы из семян, сформированных в градиенте магнетитового загрязнения, имеют измененный фенотип, отстают в росте и развитии.

Личный вклад автора. Исследования на всех этапах работы – от постановки цели и составлении программы до сбора и анализа экспериментального материала, а также апробация полученных результатов, выполнены при личном участии автора.

Апробация работы. Основные результаты, полученные в ходе написания диссертации, обсуждались на форумах, конференциях, конгрессах и симпозиумах в России и за рубежом. В России результаты исследований автором доложены на Междунар. молодежной науч. конф. «Экология-2011» (Архангельск, 2011); Междунар. ботанической конф. молодых ученых (Санкт-Петербург, 2012); 2-й Всеросс. конф. «Биоразнообразие и культуроценозы в экстремальных условиях» (Апатиты, 2013); Всеросс. науч. конф. с междунар. участием, посвященной 70-летию создания Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН «Лесные биогеоценозы бореальной зоны: география, структура, функции, динамика» (Красноярск, 2014); Всеросс. науч.-практ. конф. молодых ученых «Ботанические сады: от фундаментальных проблем до практических задач» (Екатеринбург, 2014); VIII всеросс. науч.-практ. конф. студентов, молодых ученых и специалистов «Физиологические, психофизиологические, педагогические и экологические проблемы здоровья и здорового образа жизни» (Екатеринбург, 2015); IX всеросс. науч.-практ. конф. «Физиологические, педагогические и экологические проблемы здоровья и здорового образа жизни» (Екатеринбург, 2016); Всеросс. конгрессе «Промышленная экология регионов» (Екатеринбург, 2016); Конференции «Экологическая безопасность промышленных городов – повышение качества жизни» (Екатеринбург, 2016); V всеросс. науч.-практ. конф. «Биологические системы: устойчивость, принципы и механизмы функционирования» (Нижний Тагил, 2017); X Всеросс. науч. конф. с междунар. участием «Биологическая рекультивация нарушенных земель» (Екатеринбург, 2017), Междунар. науч.-практ. конф. LXX Герценовские чтения, посвященной году экологии в России, 220-летию Герценовского университета, 85-летию факультета географии, 145-летию со дня рождения профессора Владимира Петровича Буданова «География: развитие науки и образования» (Санкт-Петербург, 2017). За рубежом материалы диссертации обсуждались на Междунар. науч. форуме «Реабилитация и восстановление деградированных лесов» (Астана, 2015); Междунар. школе-конф. молодых ученых «Лесная наука, молодежь, будущее» (Гомель, 2017); Междунар. симпозиуме по лесному хозяйству и окружающей среде (Трабзон, 2017); Междунар. науч.-практ. конф. «Биологическое разнообразие лесных экосистем: состояние, сохранение и использование» (Гомеле, 2018). Кроме того, результаты исследований легли в основу 9 отчетов о научно-исследовательской работе Ботанического сада УрО РАН (Екатеринбург, 2011-2019).

Обоснованность и достоверность материалов исследований подтверждается применением научно-обоснованных методик, статистической обработкой большого объема экспериментальных данных, апробацией полученных результатов.

Публикации. По результатам диссертационной работы в научных изданиях опубликовано 29 печатных работ, в том числе 4 статьи в журналах списка ВАК, 1 статья, индексируемая в базе данных Scopus, 2 – в базе данных Web of Science и Scopus, 5 в рецензируемых журналах базы РИНЦ, 17 – в сборниках материалов конференций российского и международного уровней.

Благодарности. Выражаю глубокую благодарность своему научному руководителю – заведующему лабораторией экологии техногенных растительных сообществ, д-

ру с-х. наук Сергею Леонидовичу Меншикову, а также старшему научному сотруднику, канд. биол. наук Светлане Георгиевне Махневой за всестороннюю помощь в проведении исследовательской работы, обобщении и интерпретации полученных результатов и представлении работы к защите; канд. с-х. наук Дмитрию Руслановичу Аникееву за ценные консультации по методам обработки фактического материала; научному сотруднику, канд. с-х. наук Константину Евгеньевичу Завьялову, младшему научному сотруднику Надежде Александровне Кузьминой, старшему инженеру Виктории Дмитриевне Горбуновой за помощь в проведении полевых работ и сборе материала.

Структура и объем диссертации. Текст диссертации изложен на 120 страницах, состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы, который состоит из 299 источников, в том числе 43 иностранных, и 8 приложений. Материал иллюстрирован 13 таблицами и 48 рисунками.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Приведен обзор отечественных и зарубежных исследований, касающихся состояния компонентов лесных насаждений в условиях воздействия аэротехногенных выбросов. Описано негативное воздействие загрязнения на разных уровнях организации от субклеточного до популяционного. Отмечены наиболее существенные источники загрязнения окружающей среды и основные загрязняющие вещества. Рассмотрены основные факторы, обуславливающие степень поражения лесных насаждений в условиях аэротехногенного загрязнения. Отмечены принципы устойчивости древесных растений к техногенному стрессу.

Детально рассмотрен процесс развития женской генеративной системы сосны обыкновенной и влияние на него условий среды, в том числе аэротехногенного загрязнения. Подчеркнуто недостаточное количество комплексных исследований женской генеративной системы сосны обыкновенной в условиях загрязнения, включая период от состояния семян на этапе гамето- и эмбриогенеза до качества семян и проростков, и отсутствие таких исследований в условиях магнетитового загрязнения.

Глава 2. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

По лесорастительному районированию Б.П. Колесникова (1969) район исследования расположен в Уральской горной области Юрюзанско-Верхнеайского округа Южноуральской провинции горных южнотаежных и смешанных лесов. Климат района исследования – континентальный. Зима умеренно холодная, лето теплое, иногда жаркое. Преобладают западные и юго-западные ветры, характеризующиеся слабой и умеренной скоростью. Рельеф среднегорного типа с мягкими, сглаженными контурами и относительно небольшой высотой хребтов. Почвенный покров представлен в основном серыми лесными почвами, которые в большинстве случаев имеют горный облик. Стоит отметить, что под длительным влиянием аэротехногенных выбросов магнетитового производства в лесном покрове произошли значительные изменения.

Глава 3. ОБЪЕКТЫ, МЕТОДИКА И ОБЪЕМ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ

Женскую генеративную систему сосны обыкновенной исследовали на четырех опытных участках (ОУ) в районе г. Сатка Челябинской области. ОУ представлены лесными культурами сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), лиственницы Сукачева (*Larix Sukaczewii* Dyl.) и березы повислой (*Betula pendula* Roth.), которые были созданы в 1980–1983 гг. в градиенте загрязнения аэропромвыбросами комбината «Магnezит» и фоновых условиях (Менщиков, 1985). ОУ-2 расположен в зоне сильного уровня загрязнения на расстоянии 1 км от источника выбросов, ОУ-5 - в зоне среднего уровня загрязнения (3 км), ОУ-4 - в зоне слабого уровня загрязнения (10 км), ОУ-К представляет условия фона, расположен в 25 км от комбината. Лесные культуры закладывали научные сотрудники Уральской лесной опытной станции ВНИИЛМ С.Л. Менщиков и Т.Б. Сродных под руководством Н.А. Луганского и Г.Г. Терехова для изучения пригодности почв и возможности лесовосстановления в условиях магnezитового загрязнения.

Оценку степени повреждения деревьев сосны проводили визуально по общепринятой методике (Санитарные правила, 2006). У каждого дерева определяли срок жизни хвои и дефолиацию кроны. Индекс повреждения древостоя на участке рассчитывали по категориям состояния (Менщиков, 2001).

На ОУ изучали относительную численность семеносящих деревьев, на каждом из которых подсчитывали количество шишек. С каждого дерева в течение трех наиболее урожайных лет (2009, 2011 и 2013 года) со средней и верхней части кроны собирали по 50-100 шишек, либо все имеющиеся шишки, но не менее 20 штук. Отобранные образцы шишек (для каждого дерева в отдельности) тщательно перемешивали и по принципу случайной выборки отбирали по 20-40 штук для анализа. В каждой шишке исследовали 35 количественных и функциональных признаков, из них 16 – признаки, характеризующие морфометрические параметры шишек, семенных чешуй и крылаток, 12 – состояние семяпочек в разные периоды их развития, 7 – качество семян и проростков.

Все линейные признаки элементов шишек измеряли с помощью лабораторного штангенциркуля с точностью до 0,01 см. Индекс формы шишек, семенных чешуй, щитков и крылаток рассчитывали, как отношение ширины к длине. Строение поверхности семенной чешуи, или форму апофиза, оценивали по шкале, предложенной С.А. Мамаевым (1972).

Для подсчета семян, фертильных и стерильных семенных чешуй каждую шишку разрушали механическим путем. Для этого высверливали ось шишки и разбирали на чешуи, начиная с базальных. Начало фертильного яруса фиксировали по появлению семенных чешуй с признаками развития семяпочек на первом и втором году: пустые и полные семена, недоразвитые семена (отделяющиеся или неотделяющиеся от семенной чешуи) размером более 1 мм. Удвоенное число фертильных семенных чешуй соответствовало исходному числу потенциально фертильных семяпочек (Романовский, Хромова, 1992; Абатурова и др., 1997; Романовский, 1997). По сумме пустых и полных семян определяли число оплодотворенных семяпочек. Число пустых семян соответствовало числу семяпочек, погибших в эмбриональный период развития. Число мелких недоразвитых семян свидетельствовало о количестве семяпочек погибших на протяжении второго года развития (Романовский, Хромова, 1992; Романовский, 1997).

Абсолютную всхожесть и энергию прорастания семян определяли в трехкратной повторности согласно ГОСТ – 13056.6-97.

Для проведения вегетационного опыта из верхнего корнеобитаемого слоя почвы (до глубины 15 см) на всех ОУ были отобраны почвенные образцы. Почвенные образцы отбирали в междурядьях культур по точкам, расположенным на трансекте. Расстояние

между точками отбора составляло 5 м, объем почвы, взятой с каждой точки – 0,005 м³. Образцы почвы, взятые с каждого ОУ перемешивали, измельчали и отсеивали от крупных минеральных частиц и помещали в вегетационные ящики, которые были размещены в оранжерее в равных условиях освещения, температуры и влажности. При проведении вегетационных опытов руководствовались методами лесокультурного выращивания, применяемыми на лесных питомниках (Редько и др., 1985). Семена высевали построчно на глубину 0,5-0,7 см (Справочник лесничего, 1965). Сохранность (выживаемость) сеянцев в разные сроки опыта оценивали, как отношение числа живых сеянцев к их общему числу. Измерение морфометрических признаков сеянцев проводили в конце 1-го и 2-го вегетационных сезонов. Вариантами вегетационного опыта были как семена модельных деревьев, произрастающих в условиях разного уровня загрязнения, так и почвенные условия.

Полученные результаты подвергали статистической обработке с использованием методов вариационной статистики, применяемых в биологии и лесоведении (Зайцев, 1984; Лакин, 1990), а также многомерным методам, таким как факторный анализ (Иберла, 1980; Халафян, 2007). Расчеты проведены с использованием пакета программ Microsoft Excel 2007 и Statistica 6.0.

За время проведения исследований на опытных участках было обмерено и оценено состояние крон и параметры семеношения у 579 деревьев. Собрано для анализа более 9 тыс. шишек, из которых изъято около 200 тыс. полнозернистых семян ($\approx 1,2$ кг), из которых более 50 тыс. штук пророщены (из них 3840 в вегетационном опыте), для проведения вегетационных опытов отобрано около 1 м³ почвы.

ГЛАВА 4. ХАРАКТЕРИСТИКА ЖЕНСКОЙ ГЕНЕРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ГРАДИЕНТЕ МАГНЕЗИТОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

В результате воздействия выбросов магnezитового производства на сосновый древостой на ряду с ухудшением таксационных показателей, увеличением дефолиации и степени повреждения, снижается его репродуктивная способность. В древостое в очаге загрязнения относительно фоновых условий снижается на 24-34% доля семеносящих деревьев и на 21-40% количество шишек на них.

4.1. Изменчивость признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной.

4.1.1. Морфология шишек, семенных чешуй и крылаток. В результате изучения морфологических признаков шишек сосны обыкновенной выявлено, что в условиях сильного загрязнения деревья формируют наиболее мелкие и легкие шишки по сравнению с участками с меньшим уровнем загрязнения и фоновыми условиями. В условиях сильного загрязнения индивидуальная (внутрипопуляционная) изменчивость размеров и формы шишек повышается до среднего уровня, тогда как на ОУ с меньшей техногенной нагрузкой и в фоновых условиях данные признаки варьируют на низком уровне. Форма шишек при этом сохраняется и, как и на всех ОУ характеризуется как «конусовидная» (индекс формы 0,48-0,51).

В условиях сильного загрязнения семенные чешуи имеют наименьшие линейные размеры. Однако, длина и ширина семенных чешуй, а также щитков на всех ОУ изменяются пропорционально, индекс их формы сохраняется. В соответствии с классификацией С.А. Мамаева (1972) семенные чешуи всех ОУ отнесены к категории «средних», основание щитка семенных чешуй «ромбическое». Выявлено, что в градиенте загрязнения апофиз более бугорчатый (2,93-3,18 балла), чем в фоновых условиях (2,6 балла).

Линейные размеры крылаток и семенных чешуй на всех ОУ достоверно коррелируют (при $p < 0,05$) между собой ($r = 0,54 \dots 0,92$). Наименьшая длина и ширина крылатки в зоне сильного загрязнения. Между остальными ОУ по данным признакам достоверных различий не выявлено. Форма крылатки остается постоянной на всех ОУ (индекс формы 0,31-0,34).

4.1.2. Состояние семяпочек и семенная продуктивность. Так как семенная продуктивность соснового древостоя складывается не только из числа шишек на дереве, но и из числа семян, реализовавшихся в фертильной зоне каждой шишки, то для понимания закономерностей формирования семян, изучение структуры их урожая на уровне взаимоотношения гамет представляется наиболее перспективным (Абатурова и др., 1997). С этой целью была подсчитана выживаемость семяпочек в разные периоды их развития (Рисунок 1).

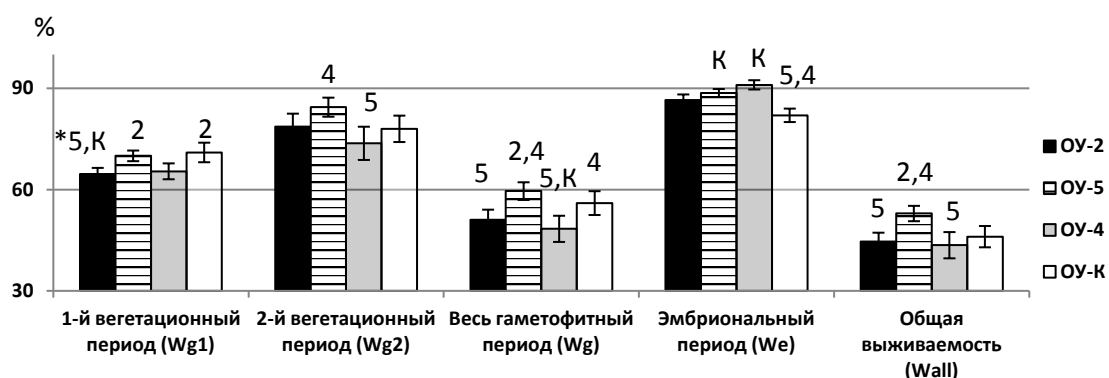


Рисунок 1. – Выживаемость семяпочек сосны (W) в разные периоды, %

Примечание: * различия с номером соответствующего ОУ достоверны при $p \leq 0,05$.

Выявлено, что в древостоях сосны в градиенте техногенного загрязнения и в фоновых условиях происходит интенсивная гибель семяпочек, которая приурочена к разным периодам их развития. В целом в градиенте загрязнения отмечена интенсивная гибель семяпочек в 1-й вегетационный период, наибольшая в условиях сильного загрязнения. Во 2-й вегетационный период отмечена высокая элиминация семяпочек в условиях слабого загрязнения. Для фоновых условий характерна высокая гибель семяпочек в эмбриональный период, что приводит к образованию большого количества пустых семян в шишках из фоновых условий (Рисунок 2).

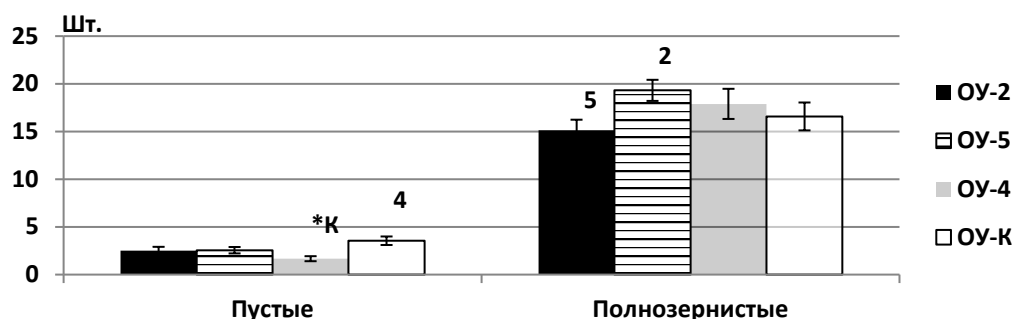


Рисунок 2. – Количество семян в шишках сосны обыкновенной, шт./шишку

Примечание: * различия с номером соответствующего ОУ достоверны при $p \leq 0,05$.

В научной литературе есть сведения о том, что в эмбриональный период развития семяпочки более защищены от внешних воздействий мутагенов-аэрополлютантов, ультрафиолетового облучения и даже бета-радиации, по сравнению с гаметофитным (Ро-

мановский, 1997). Мы считаем, что обнаруженная нами более низкая гибель семянпочек в эмбриональный период в очаге загрязнения относительно условий фона, обусловлена высокой интенсивностью их элиминации на предыдущих этапах развития.

Число полнозернистых семян в зонах среднего и слабого загрязнения и в фоновых условиях характеризуются высокой, а в зоне сильного загрязнения очень высокой индивидуальной изменчивостью. Наибольшие абсолютные значения данных признаков у шишек из зоны среднего загрязнения, наименьшие у шишек из зоны сильного загрязнения (Рисунок 2).

4.1.3. Качество семян и развитие проростков на начальной стадии онтогенеза. В условиях сильного уровня загрязнения образуются семена, имеющие достоверно самую низкую среди изученных древостоев массу, при этом уровень индивидуальной изменчивости возрастает до 24%, тогда как в фоновых условиях и условиях слабого и среднего загрязнения его значение составляет 13-15%, что может свидетельствовать о критическом воздействии условий формирования на данный признак.

Основные показатели качества семян сосны (энергия прорастания и всхожесть) слабо подвержены влиянию магнетитового загрязнения и в зонах загрязнения имеют высокие значения (энергия прорастания 84-91%, всхожесть 88-93%) сопоставимые с фоновыми условиями (86 и 91% соответственно) и видовым уровнем в целом.

В своем развитии до 15-го дня наблюдений проростки сосны проходят несколько стадий: появление корешка, появление гипокотилия, удлинение корешка и гипокотилия, появление и удлинение семядолей, их раскрытие. Морфологические параметры проростков семян на данном этапе развития являются надежными критериями их качества, т.к. свидетельствуют о готовности семени к выходу из периода покоя и переходу на гетеротрофный тип питания. У семян, сформированных в условиях влияния выбросов, доля проростков с семядолями на момент определения всхожести (15-е сутки) возрастает, а коэффициент вариации снижается. В условиях сильного загрязнения выявлена достоверная отрицательная корреляция между данным признаком и массой семян, что свидетельствует о более раннем развитии проростков из мелких семян.

Длина корешка проростка семян из зон среднего и слабого загрязнения характеризуется повышенной, а в условиях сильного загрязнения и фоновых условиях высокой вариабельностью. Достоверные различия абсолютных значений данного признака между древостоями не выявлены. Длина гипокотилия в условиях всех ОУ варьирует на низком уровне. Абсолютные значения данного признака наименьшие для семян из зоны сильного загрязнения (достоверные различия со всеми ОУ при $p < 0,05$).

Единственным из изученных признаков, варьирующем на очень низком уровне во всех представленных древостоях, является признак, характеризующий число семядолей. В зоне сильного загрязнения происходит достоверное снижение абсолютного значения данного признака (при $p < 0,05$) по сравнению с остальными ОУ, что вероятно связано как с интенсивной элиминацией деревьев, так и с участием в репродукции определенной группы деревьев в данных условиях.

4.2. Сопряженная изменчивость признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной.

В результате обработки полученных результатов методом факторного анализа выявлено, что в зависимости от уровня техногенной нагрузки происходит изменение структуры связей признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной (Рисунок 3).

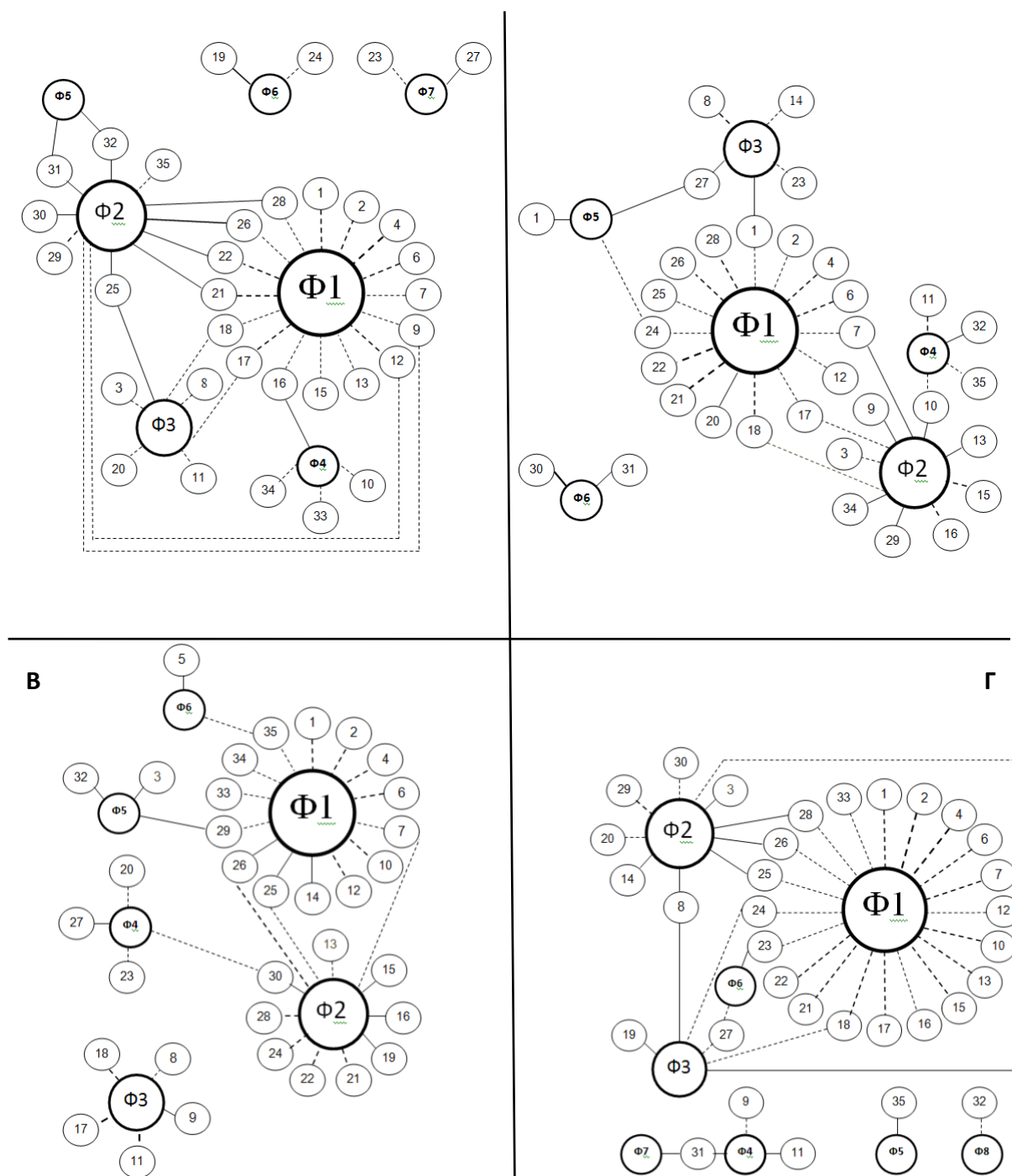


Рисунок 3. – Факторная структура признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной: А – в условиях сильного загрязнения; Б – в условиях среднего загрязнения; В – в условиях слабого загрязнения; Г – в фоновых условиях;

Примечание: обозначение признаков см. в главе 3.

— положительная связь; ---- отрицательная связь

----- $0,7 > r > 0,5$; ----- $0,9 > r > 0,7$; ----- $r > 0,9$

Отметим, что взаимосвязь признаков, характеризующих размеры и массу шишек сосны, жестко генетически детерминирована, т.к. не нарушается в градиенте загрязнения. Однако выявлена трансформация структуры связей данных признаков с показателями семенных чешуй. Так, размеры и масса шишек в фоновых условиях и условиях сильного загрязнения коррелирует с размерами семенных чешуй и их количеством, а в

условиях среднего и слабого уровней загрязнения данные признаки связаны только с размерами семенных чешуй, что указывает на вариабельность закономерностей роста и развития шишек под воздействием техногенного загрязнения.

Установлено, что семенная продуктивность сосны всех древостоев находится в более тесной взаимосвязи с показателями выживаемости семянпочек в гаметофитный период, чем в период эмбрионального развития. Следует отметить, что в фоновых условиях выживаемость семянпочек в 1-й вегетационный и эмбриональный периоды сопряжены положительно, а в условиях загрязнения связь данных признаков отрицательная, что позволяет предположить существование эффективной элиминации аномальных гаметофитов и освобождение древостоя от них в градиенте загрязнения. В условиях сильного загрязнения выявлена отрицательная взаимосвязь между семенной продуктивностью и массой семян сосны. Причиной этого может быть сильное ослабление деревьев и малая доступность минеральных ресурсов в условиях высокой рН среды произрастания.

С увеличением техногенной нагрузки изменяется структура связи показателей массы семян и их посевных качеств. Связь массы семян с энергией прорастания и всхожестью в фоновых условиях и в условиях слабого загрязнения является положительной, в условиях среднего загрязнения отсутствует, в условиях сильного загрязнения выявлена достоверно значимая отрицательная связь данных признаков.

У проростков семян, сформированных в градиенте загрязнения, изменяется структура связей между их линейными показателями и показателями массы и качества семян. Так, показатели, характеризующие длину корешка и гипокотили проростков у семян, сформированных в фоновых условиях не связаны с их энергией прорастания, всхожестью и массой, у семян, из условий слабого и среднего загрязнения положительно связаны с их массой и не зависят от основных показателей качества, а у семян, из условий сильного загрязнения положительно связаны с основными показателями качества и отрицательно – с их массой.

Глава 5. ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННЫХ УСЛОВИЙ И УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ СЕМЯН СОСНЫ НА ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН, РОСТ И РАЗВИТИЕ СЕЯНЦЕВ (ВЕГЕТАЦИОННЫЕ ОПЫТЫ)

В условиях воздействия аэротехногенных выбросов комбината «Магнезит» установлено превышение на 0,83-3,12 единицы показателя рН верхнего корнеобитаемого слоя почвы относительно фонового участка. Анализ содержания обменных катионов в почве показал существенное превышение обменного магния, соотношения между Mg^{++} и Ca^{++} в почве из зон загрязнения, а также увеличение содержания тяжелых металлов (Fe, Mn, Zn) в зоне сильного загрязнения.

В результате проведения вегетационного опыта установлено, что почвы из зон загрязнения негативно влияют на грунтовую всхожесть семян сосны всех происхождений (Рисунок 4). Наиболее низкие значения данного показателя в почве из зоны сильного загрязнения. В силу высокой вариабельности показателя грунтовой всхожести достоверных различий между семенами разных происхождений в одном варианте почвы не выявлено.

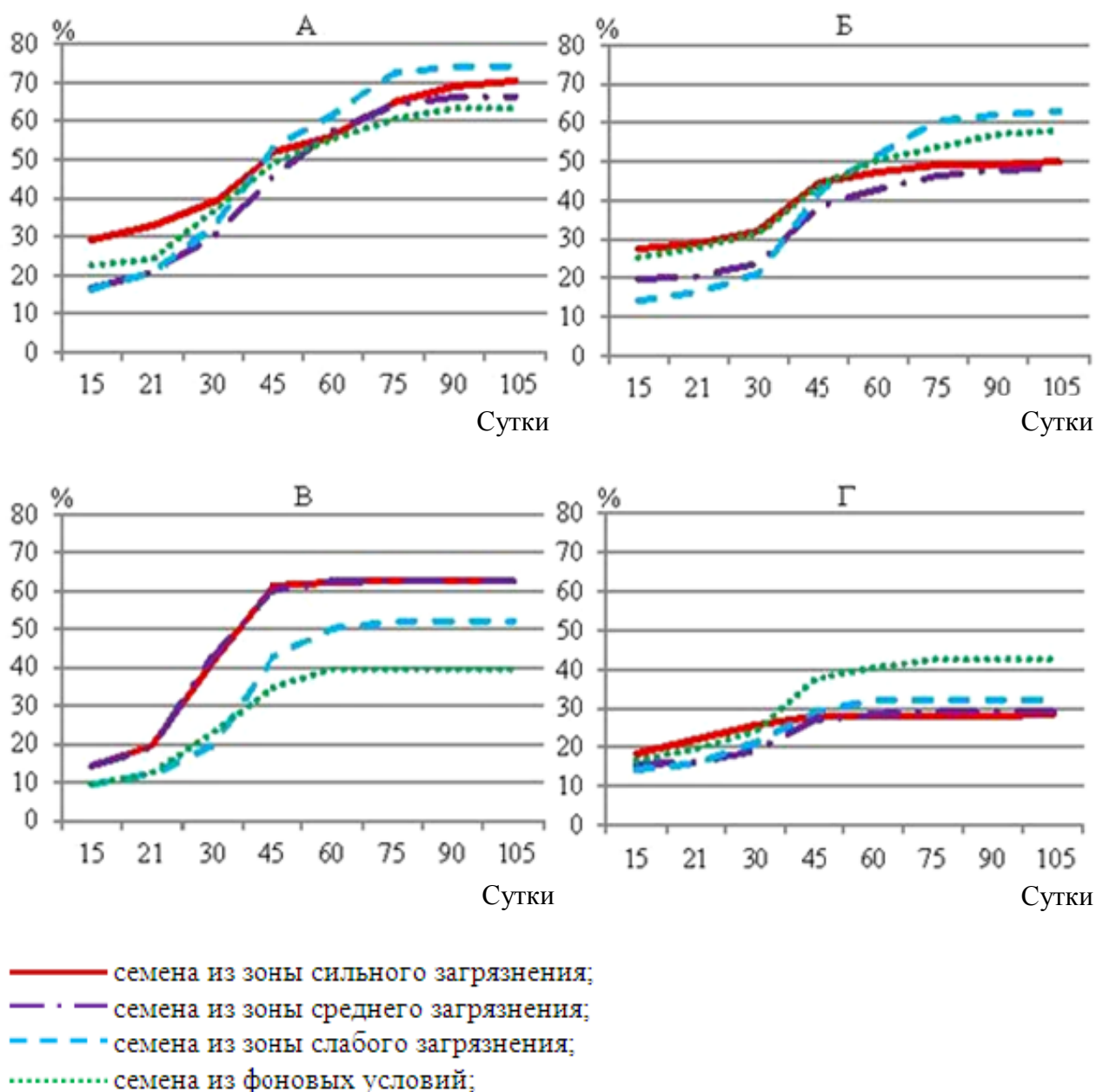


Рисунок 4. – Всхожесть семян сосны обыкновенной: А – в почве из фоновых условий, Б – в почве из зоны слабого загрязнения, В – в почве из зоны среднего загрязнения, Г – в почве из зоны сильного загрязнения.

В 1-й вегетационный период сеянцы развивались следующим образом: 1. Появление всхода и рост гипокотилия; 2. Раскрытие семядолей; 3. Появление и рост первичной хвои; 4. Рост эпикотилия и формирование верхушечной почки в конце вегетационного периода. Выявлено ингибирование роста сеянцев семян всех происхождений в техногенно загрязненных почвах (Рисунок 5). Также выявлено отставание в росте сеянцев семян из условий загрязнения по сравнению со всходами семян из фоновых условий во всех вариантах почв.

Во 2-й вегетационный период продолжается рост сеянца в высоту (365-470 сутки с момента посадки), ювенильная хвоя подсыхает (380-410 сутки), развивается вторичная (настоящая) хвоя (380-450 сутки), гипокотиль одревесневает, формируется мутовка почек на вершине (450-470 сутки).

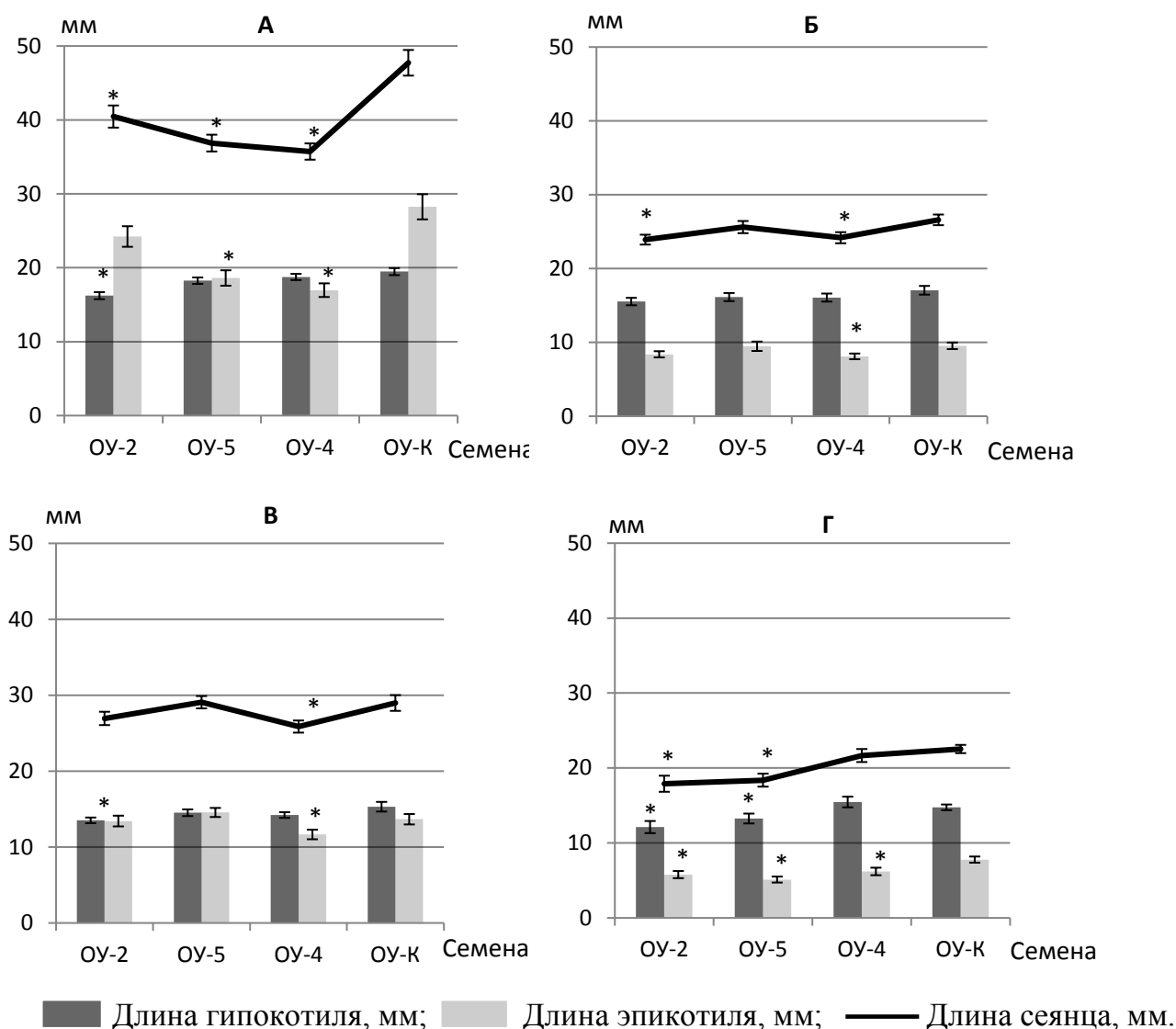


Рисунок 5. – Особенности роста сеянцев сосны обыкновенной в 1-й вегетационный период: А – в почве из фоновых условий; Б – в почве из зоны слабого загрязнения; В – в почве из зоны среднего загрязнения; Г – в почве из зоны сильного загрязнения.

Примечание: * различия с фоновыми условиями достоверны при $p \leq 0,05$.

Сеянцы семян всех происхождений по-прежнему имеют сниженные ростовые показатели в техногенно загрязненных почвах по сравнению с почвами из фоновых условий (Рисунок 6).

К концу 2-го вегетационного периода выявлена положительная реакция сеянцев семян из зоны среднего загрязнения на почву материнского древостоя – по показателю высоты данные сеянцы достоверно превосходят сеянцы семян других происхождений.

В почвах из фоновых условий, а также зоны слабого и сильного загрязнения сеянцы семян из зон загрязнения по-прежнему отстают в росте по длине, а также диаметру стволика у корневой шейки, от сеянцев семян из фоновых условий.

Техногенно загрязненные почвы негативно влияют на выживаемость сеянцев семян всех происхождений в 1-й и во 2-й вегетационные периоды (Рисунок 7).

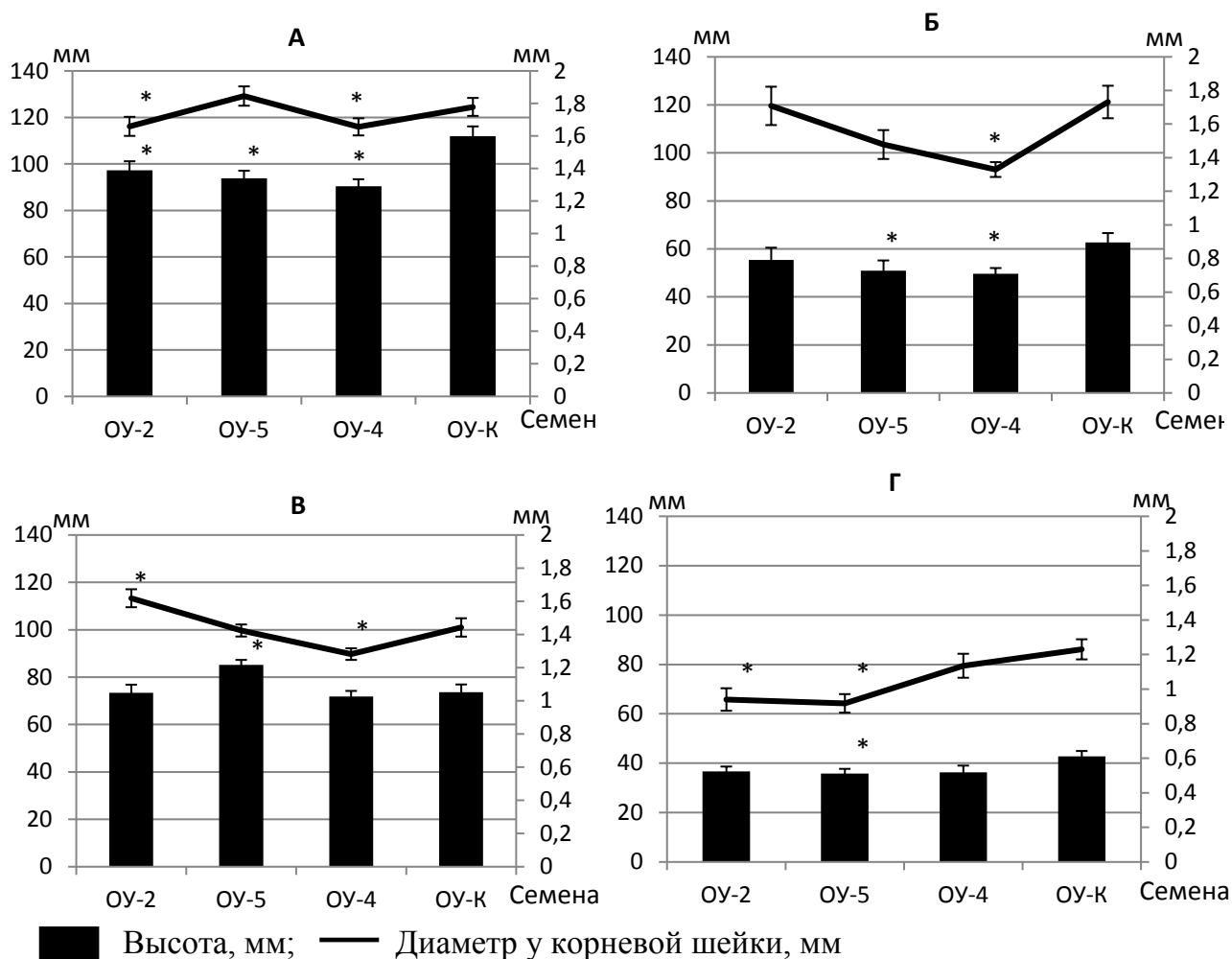


Рисунок 6. – Особенности роста сеянцев сосны обыкновенной во 2-й вегетационный период: А – в почве из фоновых условий; Б – в почве из зоны слабого загрязнения; В – в почве из зоны среднего загрязнения; Г – в почве из зоны сильного загрязнения. Примечание: * различия с фоновыми условиями достоверны при $p \leq 0,05$.

Отметим высокую выживаемость сеянцев семян из зон загрязнения сопоставимую с сеянцами семян из фоновых условий в одном варианте почв.

У сеянцев семян из фоновых условий в почве из фоновых условий и из зон сильного и слабого загрязнения формируется большее число пар хвои, чем сеянцев из семян из зон загрязнения (Рисунок 8).

В самых пессимальных для развития сеянцев почвенных условиях зоны сильного загрязнения, сеянцы семян из фоновых условий имеют еще и большую длину хвои по сравнению с сеянцами семян из зон загрязнения (Рисунок 9).

Однако, сеянцы из семян, сформированных в зоне среднего загрязнения в некоторых вариантах почв, в том числе и в почве произрастания материнского древостоя, по данным показателям сопоставимы с сеянцами из семян из фоновых условий, что в совокупности с показателями высоты и диаметра дают обоснование рекомендовать использование семян материнского древостоя для лесовозобновления в зоне среднего загрязнения.

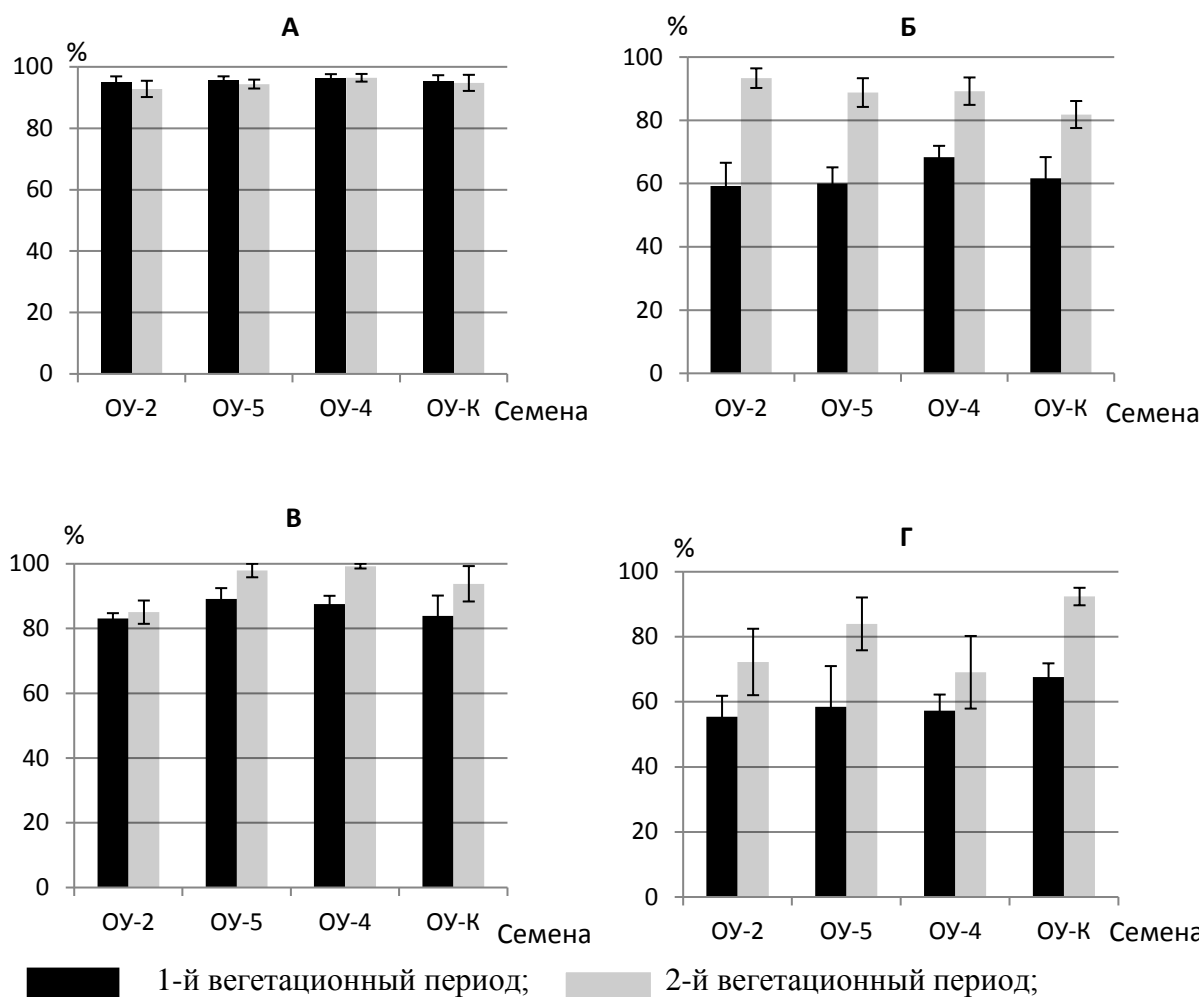


Рисунок 7. – Выживаемость сеянцев сосны в 1-й и 2-й вегетационные периоды: А – в почве из фоновых условий; Б – в почве из зоны слабого загрязнения; В – в почве из зоны среднего загрязнения; Г – в почве из зоны сильного загрязнения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований по актуальной проблеме воздействия аэротехногенного загрязнения на женскую генеративную систему и семенное потомство сосны обыкновенной показали, что в зависимости от уровня загрязнения выбросами магнезитового производства происходят выраженные в разной степени изменения процессов репродукции. В условиях влияния поллютантов у деревьев ослаблена репродуктивная способность – семенная продуктивность древостоя снижается главным образом за счет уменьшения доли семеносящих деревьев и количества шишек на них. Основные показатели качества семян, характеризующие энергию прорастания и всхожесть, слабо подвержены влиянию магнезитового загрязнения и имеют высокие значения. Даже при сильном уровне загрязнения, в крайне неблагоприятных для произрастания сосны условиях, возможно формирование семян, которые, несмотря на меньшую массу, имеют высокую всхожесть. С увеличением техногенной нагрузки изменяется структура связи показателей массы семян и их посевных качеств. Основное отличие заключается в том, что в условиях сильного загрязнения связь показателя массы семян с энергией прорастания и всхожестью – отрицательная.

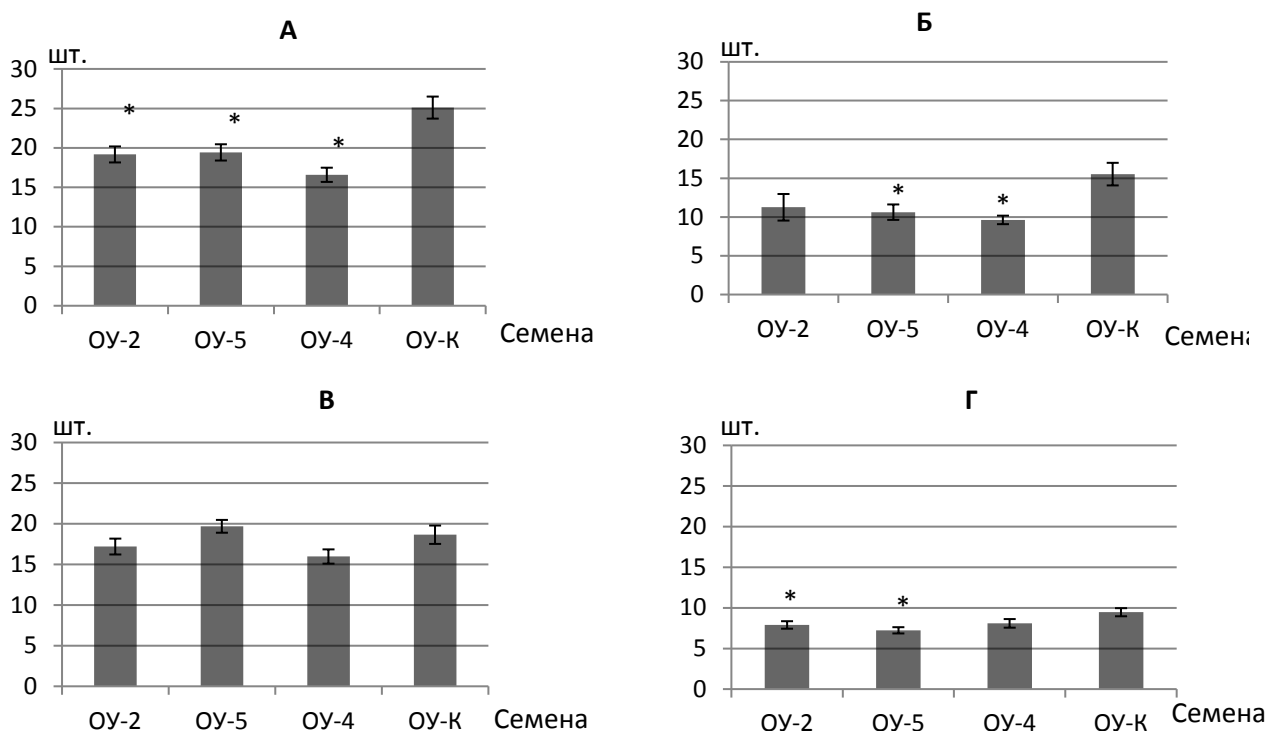


Рисунок 8. – Число пар хвои у сеянцев сосны: А – в почве из фоновых условий; Б – в почве из зоны слабого загрязнения; В – в почве из зоны среднего загрязнения; Г – в почве из зоны сильного загрязнения.

Примечание: * различия с фоновыми условиями достоверны при $p \leq 0,05$.

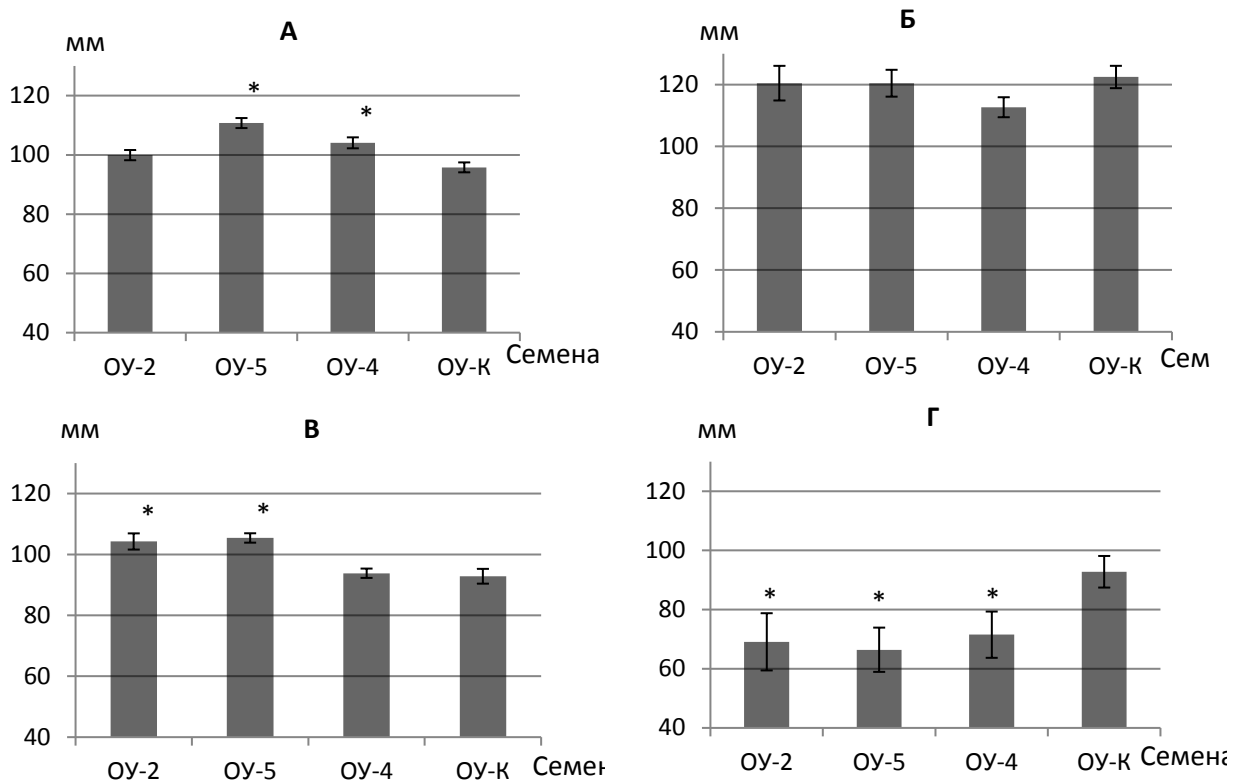


Рисунок 9. – Длина хвои у сеянцев сосны в почве: А – фоновых условий; Б – зоны слабого загрязнения; В – зоны среднего загрязнения; Г – зоны сильного загрязнения.

Примечание: * различия с фоновыми условиями достоверны при $p \leq 0,05$.

В насаждениях, подверженных влиянию поллютантов, гибель семян сосны происходит на более ранних стадиях их развития. В условиях сильного загрязнения интенсивная элиминация семян происходит в 1-й вегетационный период, в условиях слабого – во 2-й, тогда как в фоновых условиях – в эмбриональный период.

Существенные изменения состояния многих показателей женской генеративной системы сосны обыкновенной в условиях сильного загрязнения может быть связано с высоким отпадом деревьев в данных условиях и выборка представлена выжившими особями – более устойчивыми к техногенному стрессу.

На грунтовую всхожесть семян и развитие сеянцев сосны обыкновенной оказывают влияние, как условия формирования семян, так и почвенные условия. Из семян, сформированных в условиях влияния выбросов магнезитового производства в благоприятных почвенных условиях, развиваются сеянцы с низкими значениями показателей роста и развития. В техногенно загрязненных почвах снижается всхожесть семян и ростовые показатели сеянцев семян всех происхождений.

Для лесовосстановления на территориях, подверженных влиянию сильного и слабого уровней магнезитового загрязнения, нежелательно использование семян материнских древостоев, т.к. при данных сочетаниях условий формирования семян и почвенных условий, сеянцы сосны развиваются со сниженной жизнеспособностью и ростовыми показателями. В данных условиях предпочтительно использование семян из условий фона. В условиях среднего уровня загрязнения возможно лесовосстановление семенами материнского древостоя.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Меншиков, С.Л. Распределение деревьев опытных культур *Betula pendula* Roth. по ступеням толщины и уровень загрязнения почвы в зоне действия выбросов комбината «Магнезит» / С.Л. Меншиков, К.Е. Завьялов, Н.А. Кузьмина, **П.Е. Мохначев**, И.С. Цепордей // Успехи современного естествознания. – 2016. – №10. – С. 84-89.
2. **Мохначев, П.Е.** Особенности репродукции сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) в условиях загрязнения магнезитовой пылью / П.Е. Мохначев, С.Г. Махнева, С.Л. Меншиков // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2013. – №3(41). – С.8-9.
3. Махнева, С.Г. Влияние почвенных условий и происхождения семян сосны обыкновенной на их лабораторную и грунтовую всхожесть / С.Г. Махнева, **П.Е. Мохначев**, С.Л. Меншиков // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2013. – №3(41). – С.10-12.
4. Меншиков, С.Л. Воздействие атмосферных выбросов магнезитового производства на почвы и снеговой покров / С.Л. Меншиков, Н.А. Кузьмина, **П.Е. Мохначев** // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2012. – №5(37). – С. 221-223.

В изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus:

1. Makhniova, S. Seed germination and seedling growth of scots pine in technogenically polluted soils as container media / S. Makhniova, **P.E. Mokhnachev**, S. Ayan // Environmental Monitoring and Assessment. – 2019. – Т. 191, № 2. – P. 113.
2. **Mokhnachev, P.** Scotch pine regeneration in magnesite pollution conditions in South Ural, Russia / P. Mokhnachev, S. Menshikov, S. Makhniova, K. Zavyalov, N. Kuzmina, A. Potapenko, S. Ayan, S. Laaribya // South-East European Forestry. – 2018. – Т. 9, № 1. – P. 55-60.
3. Zavyalov, K. Response of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), Sukachyov's larch (*Larix sukaczewii* Dylis) and Silver birch (*Betula pendula* Roth.) to magnesite dust in satkinsky industrial hub / K. Zavyalov, S. Menshikov, **P. Mokhnachev**, N. Kuzmina, A. Potapenko and S. Ayan // Forestry Ideas. – 2018. – Vol. 24, №1. – P. 23-36.

В прочих изданиях:

1. **Мохначев, П.Е.** Особенности естественного возобновления сосны обыкновенной в условиях магнетитового загрязнения среды / П.Е. Мохначев, С.Л. Менщиков, С.Г. Махнева, К.Е. Завьялов, Н.А. Кузьмина, А.М. Потапенко // Биологическое разнообразие лесных экосистем: состояние, сохранение и использование: матер. междунар. науч.-практ. конф. – Гомель: Институт леса НАН Беларуси, 2018. – С. 223-226.
2. Махнева, С.Г. Показатели пыльцы и семян сосны обыкновенной в биомониторинге техногенного загрязнения среды / С.Г. Махнева, Н.А. Кузьмина, **П.Е. Мохначев** // География: развитие науки и образования: коллект. моногр. по матер. ежегод. междунар. науч.-практ. конф. LXX Герценовские чтения, посвященной году экологии в России, 220-летию Герценовского ун-та, 85-летию факультета географии, 145-летию со дня рождения проф. В.П. Буданова. – Санкт-Петербург: РГПУ им. А.И. Герцена, 2017. – Ч.1 – С. 372-376.
3. **Мохначев, П.Е.** Влияние условий формирования семян сосны обыкновенной на качество семенных потомств / П.Е. Мохначев, С.Г. Махнева, С.Л. Менщиков, А.М. Потапенко // Лесная наука, молодежь, будущее: матер. междунар. школы-конф. молодых ученых. – Гомель: ООО «Типография «Белдрук», 2017. – С. 206-210.
4. Кузьмина, Н.А. Накопленное техногенное воздействие в очагах загрязнения лесных экосистем на Южном Урале / Н.А. Кузьмина, С.Л. Менщиков, **П.Е. Мохначев** // Биологическая рекультивация нарушенных земель: матер. X Всерос. науч. конф. с междунар. участием. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2017. – С. 160-166.
5. Завьялов, К.Е. Анализ динамики ширины годовых колец (*Pinus sylvestris* L.) в условиях аэротехногенного загрязнения магнетитового производства / К.Е. Завьялов, **П.Е. Мохначев** // Биологическая рекультивация нарушенных земель: матер. X Всерос. науч. конф. с междунар. участием. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2017. – С. 115-124.
6. **Мохначев, П.Е.** Особенности развития сеянцев сосны обыкновенной в почвах из зон магнетитового загрязнения / П.Е. Мохначев, С.Г. Махнева, С.Л. Менщиков, К.Е. Завьялов, Н.А. Кузьмина, А.М. Потапенко // Биологическая рекультивация нарушенных земель: матер. X Всерос. науч. конф. с междунар. участием. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2017. – С. 226-232.
7. Мохначев, П.Е. Особенности развития сеянцев *Pinus sylvestris* L. в техногенно загрязненных почвах / **П.Е. Мохначев**, С.Г. Махнева, С.Л. Менщиков, К.Е. Завьялов, Н.А. Кузьмина, А.М. Потапенко // Леса России и хозяйство в них. – 2017. – №4(63). – С. 61-67.
8. Завьялов, К.Е. Радиальный прирост опытных культур (*Pinus sylvestris* L.) в условиях загрязнения комбинатом магнетит на Южном Урале / К.Е. Завьялов, С.Л. Менщиков, **П.Е. Мохначев** // Леса России и хозяйство в них. – 2017. – №4(63). – С. 41-48.
9. Menshikov, Sergey. Some transformation patterns of pre-tundra and taiga boreal forests in conditions of the aerotechnogenic pollutions / Sergey Menshikov, Nadezda Kuzmina, **Pavel Mohnachev** // Climat change & Tree migration: International Forestry & Environment Symposium. – Trabzon-Turkey, 2017. – P. 156.
10. **Мохначев, П.Е.** Использование показателей качества семян сосны обыкновенной для биоиндикации аэротехногенного загрязнения среды / П.Е. Мохначев, С.Г. Махнева, А.М. Потапенко, И.Е. Корчагин // Физиологические, педагогические и экологические проблемы здоровья и здорового образа жизни: сб. науч. тр. IX Всерос. науч.-практ. конф. – Екатеринбург: РГППУ, 2016. – С. 226-229.
11. Завьялов, К.Е. Оценка повреждения опытных культур (*Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roth, *Larix sukaczewii* Dyl.) в условиях загрязнения комбинатом «Магнетит» на Южном Урале / К.Е. Завьялов, С.Л. Менщиков, **П.Е. Мохначев**, Н.А. Кузьмина // Леса России и хозяйство в них. – 2016. – №4(59). – С. 35-41.
12. **Мохначев, П.Е.** Посевные качества семян сосны обыкновенной в условиях аэротехногенных выбросов магнетитового производства / П.Е. Мохначев, С.Г. Махнева, С.Л. Менщиков, К.Е. Завьялов, Н.А. Кузьмина, А.М. Потапенко // Леса России и хозяйство в них. – 2016. – №4(59). – С. 42-48.
13. Кузьмина, Н.А. Уровень загрязнения снега и почвы в зонах поражения лесной растительности под воздействием выбросов магнетитового производства / Н.А. Кузьмина, С.Л.

Менщиков, С.Г. Махнева, К.Е. Завьялов, **П.Е. Мохначев** // Леса России и хозяйство в них. – 2016. – №4(59). – С. 49-55.

14. **Mohnachev, P.E.** Differentiation of *Pinus silvestris* L. trees by the female generative system in conditions of the strong magnesite pollution / P.E. Mohnachev, A.M. Potapenko // Rehabilitation and Restoration of Degraded Forests: International scientific forum. - Astana, 2015. – P. 22-23.

15. Makhniova, S.G. Growth and development of seed progenies of Scots Pine in soils from areas of man-made pollution and background condition / S.G. Makhniova, **P.E. Mohnachev** // Rehabilitation and Restoration of Degraded Forests: International scientific forum. - Astana, 2015. – P. 37-38.

16. **Мохначев, П.Е.** Сосна обыкновенная как биоиндикатор аэротехногенного загрязнения среды / П.Е. Мохначев, А.М. Потапенко, И.Е. Корчагин // Физиологические, педагогические и экологические проблемы здоровья и здорового образа жизни: сб. науч. трудов IX Всерос. науч.-практ. конф. – Екатеринбург: РГППУ, 2015. – С. 126-131.

17. **Мохначев, П.Е.** Женская генеративная сфера сосны обыкновенной в условиях магnezитового загрязнения / П.Е. Мохначев // Лесные биогеоценозы бореальной зоны: география, структура, функции, динамика: матер. Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвященной 70-летию создания Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. – Красноярск, 2014. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – С. 348-351.

18. Махнева, С.Г. Качество семенных потомств сосны обыкновенной разных происхождений на выровненном экологическом фоне / С.Г. Махнева, **П.Е. Мохначев** // Лесные биогеоценозы бореальной зоны: география, структура, функции, динамика: матер. Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвященной 70-летию создания Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. – Красноярск, 2014. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – С. 343-346.

19. **Мохначев, П.Е.** Сохранность семян сосны обыкновенной *Pinus silvestris* L. в условиях магnezитового загрязнения / П.Е. Мохначев // Ботанические сады: от фундаментальных проблем до практических задач: сб. статей участников Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых. – Екатеринбург, 2014. – С. 75-77.

20. Мохначев, П.Е. Морфометрические параметры шишек сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) и лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) в условиях аэротехногенного загрязнения / **П.Е. Мохначев**, И.Е. Онучин // Ботанические сады: от фундаментальных проблем до практических задач: сб. статей участников Всерос. науч.-практ. конф. мол. уч.. – Екатеринбург, 2014. – С. 78-80.

21. Махнева, С.Г. Всхожесть семян сосны обыкновенной в почвах из зон техногенного загрязнения. / С.Г. Махнева, **П.Е. Мохначев**, С.Л. Менщиков // Биоразнообразие и культуроценозы в экстремальных условиях: матер. 2 Всерос. конф. – Апатиты, 2013. – С. 126-131.

22. **Мохначев, П.Е.** Характеристика морфологических и функциональных параметров семян и проростков сосны обыкновенной из зон техногенного загрязнения / П.Е. Мохначев, Н.А. Кузьмина // II (X) Междунар. Ботаническая конф. молодых ученых: тезисы докладов. – Санкт-Петербург, 2012. – С. 124.

Отзывы на автореферат просим направлять в трех экземплярах по адресу: 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37. УГЛТУ ученому секретарю диссертационного совета Д 212.281.01 Магасумовой А.Г.;

e-mail: dissovet.usfeu@mail.ru.

Подписано в печать _____ 2019 г. Заказ № _____. Объем 1 авт. л. Тираж 100 экз.
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37. ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет». РИО, сектор оперативной полиграфии.